ระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงต่อหนอนใยผัก, *Plutella xylostella* (Linneaus), จากพื้นที่ปลูกสำคัญ 3 แห่ง

Toxicity Level of Insecticides to Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Linneaus), from Three Important Planting Areas

สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง[1] สมศักดิ์ ศิริพลตั้งมั่น[1] พฤทฒิชาติ ปุณวัฒโท[2]
อุราพร หนูนารถ[2] จีรนุช เอกอำนวย[2]
[1]กลุ่มบริหารศัตรูพืช [2]กลุ่มกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช

บทคัดย่อ

หนอนใยผัก, *Plutella xylostella* (L.), เป็นแมลงที่ทำลายผักตระกูลกะหล่ำที่สำคัญที่สุดในประเทศไทยและกำจัดได้ยากเนื่องจากมีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงหลายชนิด เกษตรกรมักแก้ปัญหาโดยการใช้สารฆ่าแมลงเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยั่งยืนและก่อปัญหาต่างๆ ตามมา การแก้ปัญหาที่ถูกต้องก็คือการจัดการความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง (insecticide resistance management, IRM) การทราบระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงหลายๆ กลุ่มต่อหนอนใยผักในแต่ละท้องที่เป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญในการวางกลยุทธ์ในการจัดการความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง ระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงในการทดลองนี้ถูกวัดโดยวิธีมาตรฐานคือวิธีจุ่มใบผักในสารฆ่าแมลงแล้วให้หนอนกิน (leaf-dipping method) โดยทดลองกับหนอนใยผักวัยที่ 3 รุ่นลูกของหนอนใยผักที่เก็บจากพื้นที่ปลูกผักสำคัญของประเทศไทย 3 แห่ง คือ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอทับเบิก จังหวัดเพชรบูรณ์ และ อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ผลการทดลองพบว่า สารฆ่าแมลงที่มีระดับความเป็นพิษสูงและค่อนข้างสูงต่อหนอนใยผักจากพื้นที่ปลูกทั้ง 3 แห่ง คือ flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai, Bt. kurstaki*, spinosad, emamectin benzoate และ fipronil ซึ่งมีค่า LC_{50} อยู่ในช่วง 0.160-10.6, 0.225-7.97, 3.11-14.1, 1.27-8.61, 1.70-8.70, 1.16-5.63 และ 1.15-8.40 mg (AI)/liter ตามลำดับ ส่วนสารฆ่าแมลงที่มีระดับความเป็นพิษต่ำต่อหนอนใยผักจากพื้นที่ปลูกทั้ง 3 แห่ง คือ indoxacarb, chlorfenapyr และ tolfenpyrad ซึ่งมีค่า LC_{50} อยู่ในช่วง 27.5-79.2, 18.5-33.0 และ 21.2-145 mg (AI)/liter ตามลำดับ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหยุดพักการใช้สาร
เหล่านี้ชั่วคราวจนกว่าระดับความเป็นพิษจะสูงขึ้นอีกครั้ง ส่วนสารฆ่าแมลง

รหัสการทดลอง 07 01 49 03 01 01 10 51

flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai, Bt. kurstaki*, spinosad, emamectin benzoate และ fipronil ซึ่งมีระดับความเป็นพิษสูงและค่อนข้างสูงนั้นเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการความต้านทาน ข้อมูลจากการทดลองยังชี้ว่า การจัดการเพื่อป้องกันหรือลดปัญหาการเกิดความต้านทานในหนอนใยผักและการปรับอัตราความเข้มข้นของสารฆ่าแมลงให้เหมาะสมกับหนอนใยผักในแต่ละพื้นที่มีความจำเป็นเร่งด่วน

ABSTRACT

Diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* (Linneaus), is the most serious pest of crucifers in Thailand. It is difficult to control DBM, due to its resistance to many insecticides. Farmers usually solve this problem by using higher dose, which is not sustainable and cause a lot of problems thereafter. The best way to solve this problem is the implementation of insecticide resistance management (IRM). The toxicity level of various groups of insecticides to DBM in each location is the important basic data to formulate insecticide resistance management strategy. Toxicity level of insecticides in this experiment was measured by using the standard leaf-dipping method. The 3rd instar of F1 larvae from 3 important crucifer fields of Thailand, Tha Muang district in Kanchanaburi province, Tub Berg district in Petchabun province and Sai Noi district in Nonthaburi province were used. The results revealed that the insecticides showing high and rather high toxicity level to DBM from 3 planting areas were flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai, Bt. kurstaki*, spinosad, emamectin benzoate and fipronil, having LC_{50} ranging from 0.160-10.6, 0.225-7.97, 3.11-14.1, 1.27-8.61, 1.70-8.70, 1.16-5.63 and 1.15-8.40 mg (AI)/liter, respectively. On the other hand, the insecticides showing low toxicity level to DBM from 3 planting areas were indoxacarb, chlorfenapyr and tolfenpyrad, having LC_{50} ranging from 27.5-79.2, 18.5-33.0 and 21.2-145 mg (AI)/liter, respectively. Therefore, it was necessary to temporarily stop using these insecticides, until the toxicity level increase. The insecticides, flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai, Bt. kurstaki*, spinosad, emamectin benzoate and fipronil showing high and rather high toxicity level were suitable for using in insecticide resistance management planning. Data from this experiment also indicated that the management for preventing or reducing insecticide resistance problem in DBM as well as the adjusting for proper recommended dose of insecticides for DBM in each location was the urgent action.

คำนำ

การทราบระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงแต่ละชนิด หรือข้อมูล baseline susceptibility มีความสำคัญต่อการพัฒนากลยุทธ์การจัดการความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง (insecticide resistance management, IRM) ในหนอนใยผัก, *Plutella xylostella* (Linneaus) ในแต่ละท้องที่ (Denholm and Rowland 1992; Denholm et al. 1999) เราควรจะต้องทราบข้อมูลความต้านทานก่อนที่จะวางแผนเพื่อปรับกลยุทธ์การจัดการความต้านทานให้สอดคล้องกับสภาพที่เป็นจริง (Dennehy, 1987) ข้อมูลที่ได้ช่วยให้การพิจารณาเลือกชนิดสารฆ่าแมลงเพื่อใช้แบบหมุนเวียน (rotation) ในแต่ละช่วงเวลาหรือแต่ละช่วงชั่วอายุขัยของแมลงถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยสารฆ่าแมลงที่เลือกใช้ในแต่ละช่วงจะต้องมีระดับความเป็นพิษสูง ในขณะที่สารฆ่าแมลงที่เลือกใช้ในช่วงถัดมาจะต้องมีระดับความเป็นพิษสูงและต้องไม่มีความต้านทานแบบข้าม (cross resistance) กับสารฆ่าแมลงที่เลือกใช้ในช่วงแรก การใช้สารฆ่าแมลงโดยขาดการจัดการความต้านทานจะทำให้ไม่สามารถใช้สารฆ่าแมลงชนิดนั้นๆในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชได้อีกต่อไปในอนาคต (Wright, 2004; Mau and Gusukuma-Minuto, 2004)

หนอนใยผัก, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), เป็นแมลงศัตรูพืชผักตระกูลกะหล่ำที่สำคัญมากที่สุดในหลายประเทศทั่วโลก ค่าใช้จ่ายรวมทั่วโลกในการป้องกันกำจัดในช่วงต้นทศวรรษ 1990 ตกประมาณปีละ 1 พันล้านเหรียญสหรัฐ (Talekar and Shelton, 1993; Shelton, 2004) หนอนใยผักยังเป็นแมลงศัตรูผักตระกูลกะหล่ำที่เกษตรกรในประเทศไทยโดยเฉพาะในพื้นที่ปลูกจังหวัด กาญจนบุรี นนทบุรี และ เพชรบูรณ์ระบุว่าสำคัญที่สุดและกำจัดได้ยากที่สุด เนื่องจากแมลงชนิดนี้มีความต้านทานสูงต่อสารฆ่าแมลงหลายชนิด ทำให้การใช้สารฆ่าแมลงในการป้องกันกำจัดไม่ค่อยได้ผล ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพผลผลิตเพราะจะได้ใบผักที่ไม่สวยมีรูพรุนมากเกินกว่าที่พ่อค้าผู้รับซื้อไปขายส่งจะยอมรับได้

ในช่วง 50 ปีมานี้หนอนใยผักเป็นจัดเป็นแมลงที่ควบคุมยากที่สุดของโลกเนื่องจากสาเหตุหลักคือการเกิดวิวัฒนาการความต้านทานของหนอนชนิดนี้ในหลายพื้นที่ของโลกต่อสารฆ่าแมลงทุกชนิดที่ใช้กับหนอนชนิดนี้อย่างแพร่หลาย (Shelton et al. 2000, Safraz and Keddie 2005) ซึ่งรวมทั้งสารฆ่าแมลงจากเชื้อ *Bacillus thuringiensis* ด้วย (Shelton et al., 2007) จนถึงปัจจุบันนี้หนอนใยผักได้พัฒนาความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงแล้วถึง 81 ชนิด (APRD 2010) การปลูกพืชผักอย่างต่อเนื่องและชั่วอายุขัยของหนอนใยผักเพียง 14 วันทำให้มีหนอนใยผักมากกว่า 25 รุ่นต่อปีที่ได้รับสารฆ่าแมลงอย่างต่อเนื่องโดยเกษตรกร การพ่นสารฆ่าแมลงอย่างหนักและการที่หนอนใยผักอยู่รอดสูงเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้แมลงชนิดนี้สามารถที่จะพัฒนาความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงได้หลายชนิดที่ใช้ในแปลง (Wright, 2004)

เนื่องจากเกษตรกรในประเทศไทยยังคงใช้สารฆ่าแมลงเป็นหลักในการป้องกันกำจัดหนอนใยผัก ดังนั้นหนอนใยผักในประเทศไทยจึงมีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงหลายๆชนิดในระดับความรุนแรงต่างๆกันในแต่ละพื้นที่ ความต้านทานของหนอนใยผักต่อสารฆ่าแมลงประเภทสารเคมี

สังเคราะห์ในอดีตจนกระทั่งปัจจุบันพบว่าเพิ่มขึ้นรวดเร็วมาก เช่นในสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต พบว่าความต้านทานของหนอนใยผักต่อ prothiofos ในแหล่งปลูกภาคกลาง ในปี พ.ศ.2533-2535 อยู่ระหว่าง 0.8-1.1 เท่าของสายพันธ์อ่อนแอ แต่ต่อมาในปี พ.ศ. 2540-2542 ความต้านทานในแหล่งปลูกภาคกลางเพิ่มเป็น 27.81-64.52 เท่าของสายพันธุ์อ่อนแอ ส่วนสารกลุ่ม synthetic pyrethroid เช่น fenvalerate ในแหล่งปลูกภาคกลางในปี พ.ศ. 2533-2535 ความต้านทานอยู่ระหว่าง 2.86-6.71 เท่าของสายพันธุ์อ่อนแอ แต่ต่อมาในปี พ.ศ. 2540-2542 อัตราความต้านทานในแหล่งปลูกภาคกลางเพิ่มเป็น 35.31-146.92 เท่าของสายพันธุ์อ่อนแอ (วันทนา และคณะ 2544) หนอนใยผักสายพันธุ์ไทรน้อยจังหวัดนนทบุรีมีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง fipronil สูงขึ้นจาก 36.6 เท่าในปี 2542 เป็น 138.3 เท่าของสายพันธุ์อ่อนแอในปี 2544 และหนอนใยผักสายพันธุ์บางบัวทองจังหวัดนนทบุรีมีความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง abamectin สูงขึ้นจาก 14.1 เท่าในปี 2542 เป็น 41.1 เท่าของสายพันธุ์อ่อนแอในปี 2544 (พรรณเพ็ญ และคณะ 2542, 2543 และ 2544) ทั้งนี้เนื่องจากเกษตรกรชอบใช้สารฆ่าแมลงซ้ำๆกันอย่างต่อเนื่องทำให้หนอนใยผักเกิดการพัฒนาความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงหลายๆกลุ่ม

เพื่อที่จะพัฒนากลยุทธ์การจัดการความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในหนอนใยผักในแต่ละท้องที่ในประเทศไทย อันจะเป็นการลดปัญหาการพัฒนาความต้านทานอย่างได้ผล (Mau and Gusukuma-Minuto, 2004) จำเป็นที่จะต้องทราบระดับความเป็นพิษและความต้านทานของสารฆ่าแมลงชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้ในหนอนใยผักในแต่และท้องที่เพื่อที่จะหาสารฆ่าแมลงที่เหมาะสมในการใช้หมุนเวียนโดยที่ไม่ไปเพิ่มปัญหาความต้านทาน ขณะนี้ประเทศไทยไม่มีข้อมูลดังกล่าวที่เป็นปัจจุบัน ดังนั้นจึงทำการทดลองเพื่อหาระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงมากกว่า 10 ชนิดต่อประชากรหนอนใยผักในแต่ละปี ในท้องที่ที่เป็นแหล่งปลูกผักที่สำคัญของภาคกลางคือ อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี, อ. ทับเบิก จ. เพชรบูรณ์ และ อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี เพื่อที่จะทราบว่าหนอนใยผักในแต่ละท้องที่ได้พัฒนาความต้านทานแล้วจริงๆ ตามคำกล่าวอ้างของเกษตรกรมากเท่าใด ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ต้องทราบก่อนการวางแผนในการป้องกันกำจัดหนอนใยผักที่มีประสิทธิภาพในแต่ละท้องที่ และเป็นแนวทางในการจัดการความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงโดยใช้กลยุทธ์การพ่นสารฆ่าแมลงแบบหน้าต่าง (window strategy) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงชนิดต่างๆ ต่อหนอนใยผักจากพื้นที่ปลูกผักที่สำคัญของภาคกลางของประเทศไทย 3 แห่ง

วิธีดำเนินการ

แมลงที่ใช้ทดลอง

เก็บหนอนใยผักจากแปลงผักของเกษตรกรใน อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอทับเบิก จังหวัดเพชรบูรณ์ อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี โดยเก็บกระจายทั่วแปลงๆ ละ 200 ตัว ขึ้นไป นำมาเลี้ยงด้วยใบผักตระกูลกะหล่ำในห้องปฏิบัติการของสำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร ที่อุณหภูมิ 26 $\pm$ 2^0 C แล้วเก็บดักแด้ไว้ในกรง เมื่อผีเสื้อออกจากดักแด้แล้วจึงให้น้ำผึ้ง

10% โดยชุบกับสำลีเพื่อเป็นอาหาร ปล่อยให้ผีเสื้อที่เก็บจากพื้นที่เดียวกันผสมพันธุ์และวางไข่บนต้นกล้าผักคะน้าที่อยู่ในกรง เมื่อไข่ฟักปล่อยให้หนอนวัย 1 กินต้นกล้าที่วางไข่จนใบเริ่มพรุน แล้วจึงย้ายหนอนจากต้นกล้าไปเลี้ยงในกล่องโดยให้ใบคะน้าอ่อนกินเป็นอาหารจนกระทั่งหนอนเข้าสู่วัยที่ 3 ตอนต้นจึงนำมา
ใช้ในการทดลอง

สารฆ่าแมลงที่ใช้ในการทดลอง

สารฆ่าแมลงต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้ คือ spinosad (Success 12%SC), indoxacarb (Ammate 15% SC), emamectin benzoate (Proclaim 1.92% EC), chlorfenapyr (Rampage 10% SC), fipronil (Ascend 5% SC), tolfenpyrad (Hachi Hachi 16% EC), flubendiamide (Takumi 20% WDG), chlorantraniliprole (Prevathon 5% SC), *Bt. aizawai* (Xentari 35,000 DBMU/mg หรือ 10.3% AI), *Bt. kurstaki* (Bactospeine10,600 IU/mg FC หรือ 2.12% AI) และสารจับใบ (Colone)

วิธีการ

ทำการทดลองโดยวิธี leaf-dip bioassay ประยุกต์จาก Fahmy *et al*.,1991 และ Shelton *et al*.,1993 ใช้ใบกะหล่ำปลีที่ล้างสะอาดแล้วผึ่งให้แห้ง และตัดใบให้มีขนาด 5x5 ซ.ม. ทำการจุ่มใบกะหล่ำปลีที่เตรียมไว้ ในสารฆ่าแมลงความเข้มข้นต่างๆที่ละลายในน้ำที่ผสมสารจับใบความเข้มข้น 5 มล./ น้ำ 20 ลิตร นาน 10 วินาที ผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปใส่ใน Petri dishes ที่มีฝาปิดอันละ 1 ชิ้นแล้วใส่หนอนวัย 3 ช่วงต้นจำนวน 10-15 ตัว ลงในแต่ละ Petri dishes เพื่อให้หนอนกินใบผักที่ชุบสารฆ่าแมลง ทำการทดลองกับสารฆ่าแมลงแต่ละชนิด 5-9 ความเข้มข้น ๆ ละ 4-5 ซ้ำ ส่วนชุดควบคุม (control) ให้หนอนกินใบกะหล่ำปลีที่จุ่มน้ำที่ผสมสารจับใบเพียงอย่างเดียว ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 26 $\pm$ 2^0 C ความชื้น 60 -70 % RH ตรวจนับเปอร์เซ็นต์การตายของหนอนที่ 72 ชั่วโมง และที่ 96 ชั่วโมงสำหรับเชื้อ Bt แล้วนำข้อมูลการตายมาใช้ในการวิเคราะห์ การตายของหนอนจะพิจารณาจากการไม่เคลื่อนไหวหรือการไม่ตอบสนองต่อการใช้ปลายดินสอเขี่ยที่ตัว หรือการไม่เจริญเติบโตขึ้นกว่าเดิม ถ้าการทดลองใดที่หน่วยควบคุม (control) ตายเกิน 10% จะไม่เก็บข้อมูลแต่จะทำซ้ำใหม่

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลเปอร์เซ็นต์การตายของหนอนมาวิเคราะห์โดยวิธี Probit analysis เพื่อที่จะหาค่าการตายที่ 50% (LC_{50}) (Finney, 1971) เมื่อพบว่ามีการตายของหนอนในชุดควบคุม (control) จะทำการปรับค่าเปอร์เซ็นต์การตายโดยใช้Abbott's formula (Abbott, 1925) แล้วจึงนำข้อมูลเปอร์เซ็นต์การตายของหนอนมาวิเคราะห์หาค่า LC_{50} และ 95% Fiducial limits ต่อไปโดยใช้วิธีโพรบิท (Probit analysis) (Finney, 1971) โดยใช้โปรแกรม POLO-PC (LeOra Software 1987) หรือ SPSS ค่าระดับความเป็นพิษจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อค่า 95% FL ของ LC_{50} ไม่คาบเกี่ยวกัน

เวลาและสถานที่

ทำการทดลองระหว่างเดือน ตุลาคม 2551 – กันยายน 2553 ที่ห้องปฏิบัติการหนอนใยผัก กลุ่มกีฏและสัตววิทยา สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

สารฆ่าแมลงชนิดต่างๆที่ทดลองมีระดับความเป็นพิษต่อหนอนใยผักจาก อ. ท่าม่วง จ. กาญจนบุรี น้อยกว่าสารฆ่าแมลง flubendiamide มาก (ตารางที่ 1) สารฆ่าแมลง flubendiamide มีระดับความเป็นพิษสูงที่สุด (ค่า LC_{50} ต่ำมากถึง 0.246 mg (AI)/liter) ($p < 0.01$) สารฆ่าแมลงจากเชื้อ *Bacillus thuringiensis* ทั้ง *Bt. aizawai* และ *Bt. kurstaki* มีระดับความเป็นพิษรองจาก flubendiamide (ค่า LC_{50} = 3.45 และ 2.79 mg (AI)/liter ตามลำดับ) ($p < 0.01$) สารฆ่าแมลง spinosad, emamectin benzoate และ fipronil ก็มีระดับความเป็นพิษรองจาก flubendiamide เช่นกัน (ค่า LC_{50} = 8.70, 5.63 และ 8.40 mg (AI)/liter ตามลำดับ) ($p < 0.01$) ส่วนสารฆ่าแมลงที่มีพิษน้อยคือ indoxacarb, chlorfenapyr และ tolfenpyrad (ค่า LC_{50} = 79.2, 33.0 และ 21.2 mg (AI)/liter ตามลำดับ) (ตารางที่ 1)

Table 1 Susceptibility of various insecticides in F1 generation of *P. xylostella* collected from crucifer fields of Tha Muang district, Kanchana Buri , Thailand in 2008

Insecticide	n [1]	Slope ± SE	LC_{50} (95% FL) [2] [mg/liter]
spinosad	300	0.516 ± 0.063	8.70 (4.17-21.7)
indoxacarb	300	0.359 ± 0.057	79.2 (27.5-377)
emamectin benzoate	300	0.328 ± 0.056	5.63 (1.86-28.6)
chlorfenapyr	300	0.323 ± 0.056	33.0 (10.3-198)
fipronil	300	0.565 ± 0.063	8.40 (4.38-17.3)
tolfenpyrad	300	0.368 ± 0.057	21.2 (7.85-85.1)
flubendiamide	300	0.451 ± 0.058	0.246 (0.113-0.593)
Bt. aizawai	300	0.604 ± 0.065	3.45 (1.83-6.41)
Bt. kurstaki	300	0.620 ± 0.080	2.79 (1.28-6.68)

[1] Number of larvae used in bioassay, including control.

[2] at 72 hr. except for *Bt. aizawai* and *Bt. kurstaki* at 96 hr.

สารฆ่าแมลง flubendiamide และ chlorantraniliprole มีระดับความเป็นพิษต่อหนอนใยผักจาก อ. ทับเบิก จ. เพชรบูรณ์ สูงที่สุด (มีค่า LC_{50} ต่ำมากถึง 0.160 mg (AI)/liter และ 0.225 mg (AI)/liter ในรุ่น F1 ตามลำดับ) ใกล้เคียงกัน ($p > 0.01$) (ตารางที่ 2) สารฆ่าแมลงจากเชื้อ *Bacillus*

thuringiensis ทั้ง *Bt. aizawai* และ *Bt. kurstaki* (ค่า LC_{50} = 3.11 และ 1.27 mg (AI)/liter ตามลำดับ) มีระดับความเป็นพิษรองจาก flubendiamide และ chlorantraniliprole สารฆ่าแมลง spinosad, emamectin benzoate และ fipronil (ค่า LC_{50} = 1.70, 1.16 และ 3.46 mg (AI)/liter ตามลำดับ) ก็มีระดับความเป็นพิษใกล้เคียงกัน ($p > 0.01$) แต่รองจาก flubendiamide และ chlorantraniliprole เช่นกัน ส่วนสารฆ่าแมลงที่มีระดับความเป็นพิษน้อยคือ indoxacarb, chlorfenapyr และ tolfenpyrad (ค่า LC_{50} = 27.5, 19.9 และ 46.2 mg (AI)/liter ในรุ่น F1 ตามลำดับ) ซึ่งมีพิษต่ำกว่า flubendiamide และ chlorantraniliprole อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) (ตารางที่ 2)

Table 2 Susceptibility of various insecticides in F1 and F3 generation of *P. xylostella* collected from crucifer fields of Tub Berg district, Petchabun , Thailand in 2009

Insecticide	Generation tested	n [1]	Slope ± SE	LC_{50} (95% FL) [2] [mg/liter]
spinosad	F1	200	1.465± 0.191	1.70 (0.725-4.44)
indoxacarb	F1	300	0.762 ± 0.086	27.5 (7.76-141)
	F3	240	1.039 ± 0.166	248 (153-505)
emamectin benzoate	F1	200	0.926 ± 0.161	1.16 (0.512-2.07)
	F3	240	0.937 ± 0.145	1.50 (0.451-3.97)
chlorfenapyr	F1	300	0.887 ± 0.100	19.9 (6.14-59.5)
fipronil	F1	250	0.950 ± 0.123	3.46 (1.76-8.00)
tolfenpyrad	F1	200	1.966 ± 0.262	46.2 (23.8-93.9)
	F3	240	1.133 ± 0.159	46.7 (23.7-123)
flubendiamide	F1	300	1.254 ± 0.129	0.160 (0.0366-0.811)
	F3	240	1.397 ± 0.168	0.0863 (0.0607-0.122)
chlorantraniliprole	F1	200	1.593 ± 0.237	0.225 (0.0535-0.587)
Bt. aizawai	F1	250	0.870 ± 0.106	3.11 (1.62-6.36)
Bt. kurstaki	F1	300	0.775 ± 0.081	1.27 (0.337-5.17)

[1] Number of larvae used in bioassay, including control.

[2] at 72 hr. except for flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai* and *Bt. kurstaki* at 96 hr.

สำหรับหนอนใยผักจาก อ. ไทรน้อย จ. นนทบุรี นั้นพบว่า สารฆ่าแมลง flubendiamide และ chlorantraniliprole (ค่า LC_{50} = 10.6 และ 7.97 mg (AI)/liter ตามลำดับ) มีระดับความเป็นพิษสูงใกล้เคียงกัน ($p > 0.01$) แต่รองจากสารฆ่าแมลง spinosad, emamectin benzoate และ

fipronil (ค่า LC_{50} = 1.79, 1.51 และ 1.15 mg (AI)/liter ตามลำดับ) (ตารางที่ 3) สารฆ่าแมลงจากเชื้อ *Bacillus thuringiensis* ทั้ง *Bt. aizawai* และ *Bt. kurstaki* (ค่า LC_{50} = 14.1 และ 8.61 mg (AI)/liter ตามลำดับ) ก็มีระดับความเป็นพิษรองจากสารฆ่าแมลง spinosad, emamectin benzoate และ fipronil เช่นกัน ส่วนสารฆ่าแมลงที่มีระดับความเป็นพิษน้อยคือ indoxacarb, chlorfenapyr และ tolfenpyrad (ค่า LC_{50} = 66.8, 18.5 และ 145 mg (AI)/liter ในปี 2010 ตามลำดับ) (ตารางที่ 3)

เมื่อมองในภาพรวมจะเห็นว่าสารฆ่าแมลงที่มีระดับความเป็นพิษต่ำต่อหนอนใยผักจากพื้นที่ปลูกทั้ง 3 แห่ง คือ indoxacarb, chlorfenapyr และ tolfenpyrad (ตารางที่ 1-3) ส่วนสารฆ่าแมลงที่มีระดับความเป็นพิษสูงขึ้นมา คือ flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai, Bt. kurstaki*, spinosad, emamectin benzoate และ fipronil (ตารางที่ 1-3)

Table 3 Susceptibility of various insecticides in F1 generation of *P. xylostella* collected from crucifer fields of Sai Noi district, Nonthaburi , Thailand in 2009-2010

Insecticide	Year	n [1]	Slope ± SE	LC_{50} (95%FL) [2] [mg/liter]
spinosad	2010	320	1.285 ± 0.226	1.79 (0.960-2.72)
indoxacarb	2010	320	1.035 ± 0.152	66.8 (39.1-103)
emamectin benzoate	2010	320	2.136 ± 0.300	1.51 (0.542-2.95)
chlorfenapyr	2010	320	0.852 ± 0.209	18.5 (3.71-37.4)
fipronil	2010	320	0.404 ± 0.135	1.15 (0.005-4.49)
tolfenpyrad	2009	273	1.505 ± 0.159	57.4 (31.7-109)
	2010	320	0.854 ± 0.114	145 (61.3-510)
flubendiamide	2010	320	0.463 ± 0.081	10.6 (3.84-22.8)
chlorantraniliprole	2010	320	0.709 ± 0.091	7.97 (4.09-13.7)
Bt. aizawai	2009	273	0.955 ± 0.103	14.1 (7.09-26.8)
Bt. kurstaki	2009	273	0.517 ± 0.083	8.61 (4.27-19.0)

[1] Number of larvae used in bioassay, including control.

[2] at 72 hr. except for flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai* and *Bt. kurstaki* at 96 hr.

วิจารณ์ผลการทดลอง

การป้องกันการเกิดและการแก้ไขปัญหาแมลงศัตรูพืชเกิดความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงนั้น แนวทางที่นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกยอมรับกันคือแนวทาง integrated resistance management (IRM) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ integrated pest management (IPM) สามารถลดระดับความต้านทาน

ต่อสารฆ่าแมลงลงได้ IRM โดยสรุปนั้น IRM จะประกอบไปด้วยการเลือกใช้สารฆ่าแมลงหลายๆกลุ่มที่ยังคงมีประสิทธิภาพและไม่เกิดความต้านทานแบบข้าม (cross resistance) ประสานร่วมกัน โดยจะใช้สารฆ่าแมลงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเฉพาะช่วงใดช่วงหนึ่งที่เหมาะสมเท่านั้น แล้วจะต้องเว้นการใช้สารฆ่าแมลงกลุ่มนั้นในช่วงถัดมาระยะหนึ่ง โดยช่วงถัดมานี้จะใช้สารฆ่าแมลงกลุ่มอื่นแทน ดังนั้นข้อมูลระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงกลุ่มต่างๆจึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นจะต้องทราบในการตัดสินใจในการเลือกใช้สารฆ่าแมลงในแต่ละกลุ่มตามแนวทาง IRM

การสำรวจการตอบสนองของหนอนใยผักในพื้นที่ปลูกต่างๆ ต่อสารฆ่าแมลงชนิดต่างๆ มีความสำคัญเพราะทำให้ทราบข้อมูลระดับความเป็นพิษและความต้านทานของหนอนใยผักก่อนวางแผนการพัฒนากลยุทธ์การจัดการความต้านทานตามแนวทาง IRM การสำรวจดังกล่าวนั้นได้มีการดำเนินการอย่างแพร่หลาย (Zhou et al. 2010; Eziah et al. 2008; Zhao et al. 2006; Baker and Kovaliski, 1999) ในประเทศไทยก็มีการดำเนินการนานแล้วในอดีต (พรรณเพ็ญ และคณะ 2542, 2543 และ 2544) ข้อมูลจึงไม่ตรงกับสภาพปัจจุบัน ข้อมูลจากการทดลองนี้จึงใหม่และเหมาะสมที่จะใช้ทำ IRM มากกว่า การทดลองนี้ชี้ว่า สารฆ่าแมลงที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในหนอนใยผักในพื้นที่ปลูกผักสำคัญของประเทศไทย 3 แห่ง คือ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอทับเบิก จังหวัดเพชรบูรณ์ และ อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ได้แก่ flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai, Bt. kurstaki*, spinosad, emamectin benzoate และ fipronil เพราะว่าสารฆ่าแมลงเหล่านี้ให้ค่า LC_{50} ซึ่งต่ำและค่อนข้างต่ำต่อหนอนใยผักจากพื้นที่ปลูกทั้ง 3 แห่ง คืออยู่ในช่วง 0.160-10.6, 0.225-7.97, 3.11-14.1, 1.27-8.61, 1.70-8.70, 1.16-5.63 และ 1.15-8.40 mg (AI)/liter ตามลำดับ (ตารางที่ 1-3) ซึ่งแสดงถึงระดับความเป็นพิษที่สูงและค่อนข้างสูง การที่สารฆ่าแมลงมีความเป็นพิษสูงนั้นแสดงถึงว่าสารนั้นยังมีประสิทธิภาพและยังมีความต้านทานต่ำอยู่จึงเหมาะสมที่จะใช้ทำ IRM

สมควรหลีกเลี่ยงการใช้สารฆ่าแมลง indoxacarb, chlorfenapyr และ tolfenpyrad ต่อหนอนใยผักจากพื้นที่ปลูกทั้ง 3 แห่ง เป็นการชั่วคราวจนกว่าระดับความเป็นพิษจะสูงขึ้นอีกครั้งเพื่อลดปัญหาความต้านทานของหนอนใยผักต่อสารฆ่าแมลงดังกล่าว เนื่องจากสารฆ่าแมลงทั้ง 3 ตัวนี้ให้ค่า LC_{50} ค่อนข้างสูงต่อหนอนใยผักจากพื้นที่ปลูกทั้ง 3 แห่ง คือ อยู่ในช่วง 27.5-79.2, 18.5-33.0 และ 21.2-145 mg (AI)/liter ตามลำดับ (ตารางที่ 1-3) ซึ่งถ้าเกษตรกรงดใช้สารทั้ง 3 ตัวนี้ไว้ก่อนต่อไปถ้าความต้านทานต่อสารชนิดนี้ลดลง (reversion of resistance) ก็สามารถที่จะนำสารชนิดนี้กลับมาใช้ใหม่ได้อีก แต่ถ้าเกษตรกรไม่หยุดใช้แต่ใช้วิธีเพิ่มอัตราความเข้มข้นของสารในการฉีดพ่นแทนก็จะทำให้ปัญหาความต้านทานรุนแรงยิ่งขึ้นและแก้ไขได้ยากยิ่งขึ้น

สารฆ่าแมลง flubendiamide และ chlorantraniliprole เป็นสารฆ่าแมลงที่น่าสนใจที่สมควรนำมาใช้ในกลยุทธ์การหมุนเวียนการใช้สารฆ่าแมลง (insecticide rotation) สำหรับการป้องกันกำจัดหนอนใยผักเนื่องจากให้ค่า LC_{50} ที่ต่ำมากในหนอนใยผักจากอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี และอำเภอทับเบิก จังหวัดเพชรบูรณ์ (อยู่ในช่วง 0.160-0.246 mg (AI)/liter) (ตารางที่ 1-

2) แต่อย่างไรก็ตามจะต้องจำกัดช่วงระยะเวลาการใช้สารทั้งสองตัวนี้เพราะเกิดความต้านทานขึ้นแล้วในหนอนใยผักในพื้นที่อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี เนื่องจากค่า 95% fiducial limit ของ flubendiamide และchlorantraniliprole ที่ต่ำสุด (3.84 และ 4.09) มีค่าสูงกว่าค่า 95% fiducial limit ของ flubendiamide และ chlorantraniliprole ที่สูงสุดในหนอนใยผักจากอำเภอทับเบิก จังหวัดเพชรบูรณ์ (0.811 และ 0.587) (ตารางที่ 2-3)

การปรับอัตราความเข้มข้นของสารฆ่าแมลง flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai, Bt. kurstaki*, spinosad, emamectin benzoate และ fipronil เพื่อให้เหมาะสมที่จะใช้ในการแนะนำการจัดการความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในหนอนใยผักมีความสำคัญ เพราะจะทำให้การป้องกันกำจัดได้ผล เนื่องจากค่า LC_{90} ของสารฆ่าแมลงดังกล่าวบางชนิดในบางท้องที่มีค่าสูงเกินกว่าค่าอัตราแนะนำข้างฉลากของสารฆ่าแมลงชนิดนั้นๆ (ตารางที่ 4) ดังนั้นก่อนที่จะแนะนำการใช้สารฆ่าแมลงใดๆ ในกลยุทธ์การหมุนเวียนการใช้สารฆ่าแมลงตามชนิดกลุ่มสารนั้น สมควรจะต้องทราบอัตราความเข้มข้นของสารฆ่าแมลงที่ใช้ได้ผลในการป้องกันกำจัดในสภาพจริงก่อนที่จะแนะนำให้เกษตรกรทราบ

Table 4 Insecticide concentration at LC_{90} of *P. xylostella* F1 generation from Tha Muang district, Kanchana Buri; Tub Berg district, Petchabun and Sai Noi district, Nonthaburi; as compared to the highest field recommended dose of each insecticide

Insecticide	The highest field recommended dose [mg/liter]	LC_{90} (95%FL) [1] [mg/liter] of each insecticide in each population		
		Tha Muang [2]	Tub Berg [3]	Sai Noi [4]
spinosad	240.0	2645 [§] (573-29,250)	12.7 (4.76-142)	17.8 (10.5-45.8)
indoxacarb	112.5	296421 [§] (20,934-40,400,961)	1319 [§] (420-8,358)	1155 [§] (608.8-3,322)
emamectin benzoate	19.2	45057 [§] (2,449-12,932,596)	28.0 [§] (12.9-112)	5.99 (3.04-50.4)
chlorfenapyr	200.0	308506 [§] (14,226-134,822,118)	367 [§] (98.5-7,108)	590 [§] (264-4,283)
fipronil	150.0	1555 [§] (460-9,494)	77.1 (25.6-568)	1708 [§] (230.4-12,454,819)
tolfenpyrad	240.0	65206 [§] (5,503-5,945,267)	207 (100-1,013)	4604 [§] (1,017-226,602)
flubendiamide	60.0	171 [§] (33.7-2,352)	1.18 (0.463-9.78)	6257 [§] (1,335-126,537)

chlorantraniliprole	75.0	-	1.43	512 [§]
		-	(0.556-30.3)	(254-1,398)
Bt. aizawai	412.0	456 [§]	92.2	311
		(168-1,918)	(33.4-496)	(128-1,432)
Bt. kurstaki	127.2	324 [§]	146 [§]	2582 [§]
		(86.2-2,722)	(36.9-1,551)	(532-47,536)

[1] LC_{90} at 72 hr. except for *Bt. aizawai* and *Bt. kurstaki* at 96 hr.

[2] LC_{90} (95%FL) in 2008

[3] LC_{90} (95%FL) in 2009

[4] LC_{90} (95%FL) in 2010 except for *Bt. aizawai* and *Bt. kurstaki* in 2009

[§] indicates that LC_{90} was higher than field recommended dose

การสำรวจระดับความเป็นพิษและความต้านทานแบบเชิงรุกเพื่อวางแผนการจัดการความต้านทานเป็นหัวใจสำคัญในการใช้สารฆ่าแมลงเพื่อควบคุมหนอนใยผักอย่างยั่งยืน การสำรวจความต้านทานแบบเชิงรุกสามารถที่จะทำก่อนที่จะมีการใช้สารฆ่าแมลงตัวนั้นๆอย่างกว้างขวาง ซึ่งจะทำให้ทราบข้อมูล baseline ของความแตกต่างของความต้านทานระหว่างพื้นที่และช่วงเวลา การสำรวจความต้านทานแบบเชิงรุกทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญที่จะช่วยเกษตรกรเปลี่ยนชนิดสารฆ่าแมลงก่อนที่จะเกิดความสูญเสียเนื่องจากการใช้สารฆ่าแมลงที่แมลงเกิดความต้านทาน การจัดการความต้านทานโดยใช้การหมุนเวียนชนิดสารฆ่าแมลงอย่างชาญฉลาดในพื้นที่กว้างขวางจะช่วยให้สามารถใช้สารฆ่าแมลงชนิดนั้นๆได้ยาวนาน (Zhao et al. 2006)

มีการใช้สารฆ่าแมลงในพื้นที่ปลูกผักที่ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอทับเบิก จังหวัดเพชรบูรณ์ และ อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี เป็นอย่างมาก คาดการณ์ว่าหนอนใยผักกำลังพัฒนาหรือได้พัฒนาความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงทุกชนิดที่ใช้แล้วโดยใช้เวลาไม่ช้าก็เร็ว ข้อมูลระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงชนิดต่างๆต่อหนอนใยผักที่ได้จากการทดลองนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการเลือกชนิดสารฆ่าแมลงที่เหมาะสมในการทำ IRM เบื้องต้น และชี้ว่าการจัดการเพื่อลดปัญหาการเกิดความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในหนอนใยผักที่ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอทับเบิก จังหวัดเพชรบูรณ์ และ อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี มีความจำเป็นเร่งด่วน

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

สารฆ่าแมลงที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงในหนอนใยผักในพื้นที่ปลูกผักสำคัญของประเทศไทย 3 แห่ง คือ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอทับเบิก จังหวัดเพชรบูรณ์ และ อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี คือ flubendiamide, chlorantraniliprole, *Bt. aizawai, Bt. kurstaki*, spinosad, emamectin benzoate และ fipronil และให้หลีกเลี่ยงการใช้สารฆ่าแมลง indoxacarb, chlorfenapyr และ tolfenpyrad ต่อหนอนใยผักจากพื้นที่ปลูกทั้ง 3 แห่ง เป็นการชั่วคราวจนกว่าระดับความเป็นพิษจะสูงขึ้นอีกครั้งเพื่อลดปัญหาความต้านทาน การวางแผนเพื่อป้องกันหรือลดปัญหาการเกิดความต้านทานในหนอนใยผักและการปรับอัตราความเข้มข้นของสารฆ่าแมลงให้เหมาะสมกับหนอนใยผักในแต่ละพื้นที่มีความจำเป็นเร่งด่วน

เอกสารอ้างอิง

พรรณเพ็ญ ชโยภาส, ปิยรัตน์ เขียนมีสุข, ทวีศักดิ์ ชโยภาส, กรรณิการ์ เพ็งคุ้ม และ สัญญาณี ศรีคชา. 2542. การตรวจความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงของหนอนใยผักในแหล่งปลูกผักภาคต่างๆ , น. 1-15. ใน เอกสารวิชาการ รายงานผลการค้นคว้าและวิจัย ประจำปี 2542. กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูพืชสวนอุตสาหกรรม. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

พรรณเพ็ญ ชโยภาส , ปิยรัตน์ เขียนมีสุข, ทวีศักดิ์ ชโยภาส และจิราภรณ์ ทองพันธ์ . 2543. การศึกษาระดับความเป็นพิษของสารฆ่าแมลงต่อหนอนใยผัก. เอกสารวิชาการ รายงานผลการค้นคว้าและวิจัยประจำปี 2542 .กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูพืชสวนอุตสาหกรรม กองกีฏและสัตววิทยา, กรมวิชาการเกษตร.หน้า 45-51.

พรรณเพ็ญ ชโยภาส, ปิยรัตน์ เขียนมีสุข, ทวีศักดิ์ ชโยภาส, อัจฉรา ตันติโชดก และจิราภรณ์ ทองพันธ์. 2544. การตรวจความต้านทานต่อสารฆ่าแมลงประเภทเชื้อแบคทีเรียของหนอนใยผักในกะหล่ำปลี, น. 1-12. ใน เอกสารวิชาการ รายงานผลการค้นคว้าและวิจัย ประจำปี 2544. กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูพืชสวนอุตสาหกรรม. กองกีฏและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

วันทนา ศรีรัตนศักดิ์, พรรณเพ็ญ ชโยภาส, สุเทพ สหายา และศรีจำนรรจ์ พิชิตสุวรรณชัย. 2544. การต้านทานต่อสารฆ่าแมลงของแมลงศัตรูที่สำคัญในพืชเศรษฐกิจ. น. 90-118. ใน เทคโนโลยีทางเลือกสำหรับไอ พี เอ็ม รายงานผลการดำเนินงานการป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยวิธีผสมผสานครั้งที่ 4 วันที่ 29-31 สิงหาคม 2544 ณ โรงแรมรีเจนท์ชะอำ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี.

Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.

[APRD] Arthropod Pesticide Resistance Database. 2010. Arthropod pesticide resistance database. (http://www.pesticideresistance.org).

Baker, G.J. and J. Kovaliski. 1999. Detection of insecticide resistance in *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) population in South Australian crucifer crops. Aus. J. Entomol. 38: 132-134.

Denholm I., and M.W. Rowland. 1992. Tactics for managing pesticide resistance in arthropods: theory and practice. Ann. Rev. Entomol. 37: 91-112.

Denholm I., J.A. Pickett, and L.A. Devonshire. 1999. Insecticide Resistance: From mechanism to management. CAB International and Royal Society, London, UK.

Dennehy, T.J. 1987. Decision-making for managing pest resistance to pesticides. Pp 118-126. in Ford, M.G., Holloman, D.W., Khambay, B.P.S. and Sawicki, R.M. (Eds). Combating resistancee to xenobiotics: biological and chemical approaches. Chichester, UK, Ellis Horwood.

Eziah, V.Y., H.A. Rose, A.D. Clift, and S. Mansfield. 2008. Susceptibility of four field populations of the diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) to six insecticides in the Sydney region, New South Wales, Australia. Aus. J. Entomol. 47: 355-360.

Fahmy, R.A., N. Sinchaisri and T. Miyata, 1991. Development of chlorfluazuron resistance and pattern of cross-resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. J. Pestic. Sci. 16: 665-672.

Finney, D.J.,1971. Probit Analysis, 3 rd Edition. Cambridge University Press, UK.
LeOra Software. 1997. POLO-PC: probit and Logit Analysis. LeOra Software, Berkeley, CA.

Mau, R.F.L., Gusukuma-Minuto, L., 2004. Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), resistance management in Hawaii. In: Endersby, N., Ridland, P.M. (Eds.), The Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests, pp. 307–312. Proceedings of the Fourth International Workshop on Diamond Back Moth, 26–29 November 2001, Melbourne, Australia.

Sarfraz, M., and B.A. Keddie. 2005. Conserving the efficacy of insecticide against *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). J. Appl. Entomol. 129: 149-157.

Shelton, A.M., 2004. Management of the diamondback moth: De ja vu all over again? In: Endersby, N., Ridland, P.M. (Eds.), The Management of Diamondback Moth

and Other Crucifer Pests, pp. 3–8. Proceedings of the Fourth International Workshop on Diamondback Moth, 26–29 November 2001, Melbourne, Australia.

Shelton, A.M., Roush, R.T., Wang, P., Zhao, J.-Z., 2007. Resistance to insect pathogens and strategies to manage resistance: An update. In: Lacey, L., Kaya, H.K. (Eds.), Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology, second ed. Kluwer Academic Press, pp. 793–811.

Shelton, A.M., F.V. Sances, J. Hawley, J.D. Tang, M. Boune, D. Jungers, H.L. Collins, and J. Farias. 2000. Assessment of insecticide resistance after the outbreak of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in California in 1997. J. Econ. Entomol. 93: 931-936.

Shelton, A.M., J.L. Robertson, J.D. Tang. 1993. Resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Yponomeutidae) to *Bacillus thuringgiensis* subspecies in the field. J. Econ Entomol. 86:697-705.

Talekar, N.S., Shelton, A.M., 1993. Biology ecology and management of the diamondback moth. Annu. Rev. Entomol. 38, 275–301.

Wright, D., 2004. Biological control of DBM: a global perspective. In: Bordat, D., Kirk, A.A. (Eds.), Improving Biocontrol of Plutella xylostella. CIRAD, Montpellier, France, ISBN 2-87614 570 7, pp. 9–14. Proceedings of the International Symposium in Montpellier, France, 21–24 Oct 2002.

Zhao J.-Z., H.L. Collins, Y-X. Li, R.F.L. Mau, G.D. Thompson, M. Hertlein, J.T. Andaloro, R. Boykin, and A.M. Shelton. 2006. Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad, indowacarb, and emamectin benzoate. J. Econ Entomol. 99(1): 176-181.

Zhou, L., J. Huang, and H. Xu. 2010. Monitoring resistance of field populations of diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) to five insecticides in South China: a ten-year case study. doi: 10.1016/j.croppro.2010.10.006.